

明 細 書

貼り合わせウェーハの製造方法

技術分野

- [0001] この発明は貼り合わせウェーハの製造方法、詳しくは所定深さ位置に水素などがイオン注入された半導体ウェーハを熱処理し、そのイオン注入領域内から半導体ウェーハを剥離する技術に関する。

背景技術

- [0002] 近年、SOI(Silicon On Insulator)構造を有した半導体基板を製造する方法として、特許文献1に記載されたスマートカット法が開発されている。

これは、酸化膜を形成後、水素(または軽元素)を所定深さ位置にイオン注入した活性層用ウェーハと、酸化膜を有しない支持用ウェーハとを貼り合わせ、次いで、得られた貼り合わせウェーハを熱処理炉に装入して熱処理することにより、このイオン注入領域から活性層用ウェーハの一部を剥離して活性層を形成する方法である。

- [0003] 上記活性層用ウェーハの表裏面に設けられる酸化膜(埋め込み絶縁膜)は膜厚が150nmと薄膜であり、通常、この酸化膜は熱酸化法により形成される。すなわち、酸化炉内にシリコンウェーハを装入し、これを所定時間、所定温度に加熱することにより行われる。熱酸化法では、酸化膜は基本的にはシリコンと酸素との強固な結合から成る。また、他の方法(CVD法など)で形成された酸化膜に比べて高密度であり、不純物やトラップが少ない。そして、界面準位が少ないことが最大の特徴である。

- [0004] 特許文献1:日本国特開平5-211128号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] 最近では活性層の厚さが0.1 μm 以下の薄膜SOIウェーハの活性層の厚さについて、デバイスメーカーからウェーハ製造メーカーに高水準の要求がなされている。これは、SOI特性を十分に活用するために、部分空乏型(Partial Depletion)構造のデバイスが開発されているためである。具体的には、活性層の厚さは0.02~0.05 μm 、活性層の面内膜厚の均一性(活性層全域での厚さのばらつき)は、活性層の

厚さを基準として5～10%である。これらの活性層の膜厚に対する要求は、スマートカット法により製造された貼り合わせウェーハに対しても同じである。

[0006] ところで、活性層の膜厚分布は、埋め込み絶縁膜の膜厚分布と相関関係を有している。以下、これについて、図3～図6を参照して説明する。

すなわち、軽元素は絶縁膜(BOX)を通して活性層用ウェーハの表層にイオン注入される。そのため、図3に示すように、絶縁膜12aの厚さが、軽元素のイオンの注入深さ(R_p)、言い換えれば活性層用ウェーハ10の剥離深さに影響を与える。その結果、図4に示すように、活性層用ウェーハ10の平面内で、絶縁膜が厚い領域では、製造された貼り合わせウェーハの活性層13が薄くなる。逆に、絶縁膜が薄い領域では、活性層13が厚くなる。

[0007] したがって、活性層用ウェーハの絶縁膜の膜厚均一性を高めることが、活性層の膜厚均一性を高める必須条件となる。

しかしながら、この方法で埋め込み絶縁膜の膜厚均一性を高めるには限界がある。これは、例えば活性層用ウェーハ10がシリコンウェーハで、絶縁膜12aがシリコン酸化膜の場合、酸化膜形成レートのパラメータとして知られる酸素ガスの流れと炉内温度とが、必ずしもウェーハ表面内で均一ではないからである。このことは、シリコンウェーハの熱酸化膜形成のために一般的に使われている縦型炉を使用した場合でも同様である。なお、酸化膜の厚みが増大するにつれ、上記酸素ガスの流れおよび炉内温度の不均一さはより顕著になる。

[0008] さらに、スマートカット法では、活性層用ウェーハ10に埋め込み酸化膜(埋め込み絶縁膜)12aを介して水素イオンを注入する。そのため、製造された貼り合わせSOIウェーハは、活性層13と埋め込み酸化膜とに、イオン注入によるダメージ(損傷)がそれぞれ発生していた。

そして、酸化膜がダメージ(損傷)を有すると、酸化膜をエッチングしたときエッチングレートが高くなる。このエッチングレートが高い酸化膜は、イオン注入を行わない酸化膜と比べて酸化膜耐圧が低下することになる。

[0009] そこで、発明者は、図5に示すように、活性層用ウェーハ10の絶縁膜12aの厚さを、製造後の貼り合わせウェーハの埋め込み絶縁膜12cより薄くすれば、軽元素のイオ

ン注入深さ R_p にさほど影響がないことを知見した。また、これにより、図6示すように、スマートカット法により得られた貼り合わせウェーハにおいて、活性層13の面内厚さの均一性を高めることができることを知見した。なお、20は支持ウェーハである。

[0010] この発明は、スマートカット法により製造された貼り合わせウェーハにおいて、活性層の面内厚さの均一性(面内膜厚均一性)を高めることができ、しかも軽元素のイオン注入による活性層および埋め込み絶縁膜のダメージを低減することができる貼り合わせウェーハの製造方法を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0011] 第1の発明は、絶縁膜が形成された活性層用ウェーハの所定深さ位置に軽元素をイオン注入し、上記活性層用ウェーハにイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、その後、上記活性層用ウェーハと、絶縁膜が形成された支持用ウェーハとを、両絶縁膜同士を重ね合わせて貼り合わせ、貼り合わせウェーハを作製する貼り合わせ工程と、この貼り合わせウェーハを熱処理し、上記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させ、上記貼り合わせウェーハのイオン注入側を剥離して活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせウェーハの製造方法である。

[0012] 第1の発明によれば、活性層用ウェーハには、製造後の貼り合わせウェーハに埋め込まれる埋め込み絶縁膜より薄い絶縁膜が形成される。そのため、イオン注入時、軽元素は薄い絶縁膜を介して活性層用ウェーハにイオン注入される。この結果、剥離後の活性層の面内厚さの均一性を高めることができる。

[0013] 活性層用ウェーハの絶縁膜を薄くすれば、イオン注入時の加速電圧を同一とした場合、絶縁膜が厚いウェーハに比較して軽元素のイオン注入深さが深くなるため、軽元素のイオン注入時に付加される活性層および絶縁膜のダメージを低減することができる。特に、表面に存在する絶縁膜のダメージ低減に効果がある。以下、これについて詳細に説明する。

イオン注入では、軽元素のイオン注入深さの4分の3の位置が、理論上、最大注入ダメージ深さであることが知られている。これは、注入されたイオンと、被注入材料(本発明の場合はシリコン)を構成する原子との相互作用で説明される。すなわち、高速のイオンがシリコン原子と衝突を繰り返しながら速度が低下するが、イオンが停止する

直前、すなわち、最深の注入深さ位置の直上位置で注入されたイオンとシリコン原子との相互作用が最も大きくなるため、その領域におけるダメージが最大となる。

絶縁膜がシリコン酸化膜の場合、軽元素がイオン注入された埋め込みシリコン酸化膜は、イオン注入によるダメージから、エッチング時のエッチング速度が熱酸化膜より大きくなることも知られている。この結果は、絶縁層の耐圧性能の劣化を意味する。

[0014] 発明者は上記の問題点を踏まえ、イオン注入後のシリコン酸化膜、ひいては埋め込みシリコン酸化膜のエッチング速度が、熱酸化膜のエッチング速度と同等になる埋め込みシリコン酸化膜の厚さについて調査した。

その結果、活性層用ウェーハの酸化膜の厚さを t_{dox} 、イオン注入深さを R_p 、活性層の厚さを t_{soi} とすると、次式を満たす条件で、イオン注入されたシリコン酸化膜(埋め込みシリコン酸化膜)のエッチング速度が熱酸化膜のエッチング速度とほぼ同等となることを見出した。

$$0.1R_p = 0.1 \times (t_{dox} + t_{soi}) > t_{dox}$$

$$t_{dox} < (1/9) \times t_{soi}$$

[0015] すなわち、活性層用ウェーハのシリコン酸化膜の厚さが、活性層の厚さの9分の1(約0.11)未満になれば、イオン注入後のシリコン酸化膜のエッチング速度は、熱酸化膜のエッチング速度と同等になる。言い換えれば、シリコン酸化膜を活性層の9分の1まで薄膜化すると、シリコン酸化膜にイオン注入によるダメージがほとんど存在しなくなる。この場合、埋め込みシリコン酸化膜の厚さを、SOI構造における所定のBOX厚さ(総厚)にするためには、支持用ウェーハ側にシリコン酸化膜を形成することで対応できる。

[0016] 活性層用ウェーハおよび支持用ウェーハの種類としては、例えば単結晶シリコンウェーハ、ガリウム・ヒ素ウェーハなどを採用することができる。

絶縁膜としては、例えば酸化膜、窒化膜などを採用することができる。

製造後の貼り合わせウェーハにおいて、絶縁膜(埋め込み絶縁膜)の総厚は限定されない。例えば、 $0.1 \sim 0.5 \mu m$ である。

活性層の厚さは限定されない。例えば、厚膜の活性層では $1 \sim 2 \mu m$ である。また、薄膜の活性層では $0.01 \sim 1 \mu m$ である。この発明は、薄膜の活性層を有する貼り合

わせウェーハに好適である。活性層用ウェーハに形成された絶縁膜の厚さと、支持用ウェーハに形成された絶縁膜の厚さの比は限定されない。

- [0017] 軽元素としては、例えば、水素(H)の他、希ガスの元素であるヘリウム(He)、ネオン(Ne)、アルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)、ラドン(Rn)などでもよい。これらは単体または化合物でもよい。

イオン注入時の軽元素のドーズ量は限定されない。例えば $2 \times 10^{16} \sim 8 \times 10^{16}$ atoms/cm²である。

軽元素のイオン注入時の加速電圧は、50keV以下、好ましくは30keV以下、さらに好ましくは20keV以下である。軽元素のイオン注入は、低加速電圧ほど目標深さに軽元素を集中させることができ、例えば薄膜SOI作製には有利である。しかしながら、低加速電圧ほどBOX層の注入ダメージが大きくなり、本発明がより有効となる。

- [0018] 剥離時の貼り合わせウェーハの加熱温度は400℃以上、好ましくは400～700℃、さらに好ましくは450～550℃である。400℃未満では、活性層用ウェーハにイオン注入された軽元素から軽元素バブルを形成することが難しい。また、700℃を超えると、活性層内に酸素析出物が形成されてしまいデバイス特性の低下を招くおそれがある。

- [0019] 剥離時の貼り合わせウェーハの加熱時間は1分間以上、好ましくは10～60分間である。1分間未満では、貼り合わせウェーハにイオン注入された軽元素をバブル化することが困難になる。

活性層用ウェーハと支持用ウェーハとの貼り合わせは、例えば常温により両ウェーハを重ね合わせ、その後、貼り合わせ強化熱処理を施して貼り合わせ強度を高める。その際の加熱温度は800℃以上、例えば1100℃である。貼り合わせ強化熱処理の時間は、例えば2時間である。熱酸化炉内の雰囲気ガスとしては、窒素などを使用できる。

- [0020] 第2の発明は、第1の発明にあつて、上記活性層用ウェーハの絶縁膜の厚さ t_{dox} は、 $t_{dox} < (1/9) \times t_{soi}$ 、 t_{soi} =活性層の厚さ、の式を満足させる貼り合わせウェーハの製造方法である。

- [0021] 活性層用ウェーハの絶縁膜が厚くなるほど、製造された貼り合わせウェーハの活性

層の厚さのばらつきが大きくなる。剥離後の活性層厚さ(t_{soi})の $1/9$ を活性層用ウェーハの絶縁膜の厚さが超えると、剥離後の活性層の厚さばらつきが10%を超え、その後の研磨工程でのばらつきを考慮すると、最終製品の活性層のばらつき目標である10%を達成することは困難となる。また、活性層用ウェーハに絶縁膜が存在しない場合(支持用ウェーハにだけ絶縁膜を形成した場合)、活性層と埋め込み絶縁膜との界面が、絶縁膜同士の界面でなくなる。この場合、貼り合わせ界面にパーティクル汚染等が存在すると、活性層におけるBOX界面近傍の電子移動度の低下を起こしやすく、安定したSOI特性が得られない。

絶縁膜の好ましい厚さは $0.05 \sim 1.0 \mu\text{m}$ である。 $0.05 \mu\text{m}$ 未満では、絶縁膜が薄すぎてイオン注入後または支持用ウェーハとの貼り合わせ前の洗浄時に、活性層用ウェーハの絶縁膜が消失するおそれがある。

[0022] 第3の発明は、第1の発明または第2の発明にあつて、上記活性層用ウェーハと上記支持用ウェーハとの貼り合わせ前に、上記活性層用ウェーハおよび上記支持用ウェーハについてそれぞれプラズマ処理を施す貼り合わせウェーハの製造方法である。このプラズマ処理は、これらウェーハの表面を活性化処理である。

[0023] 第3の発明によれば、一般的なシリコンと酸化膜との貼り合わせと比較して本発明である酸化膜と酸化膜との貼り合わせにおいては、貼り合わせ強度が小さくなり、貼り合わせ強度不足に起因した欠陥(ボイド)が発生しやすい。よって、貼り合わせ強度を高めるため、貼り合わせ前にプラズマ活性化処理(酸素ガス雰囲気または窒素ガス雰囲気)を適用する。

[0024] 第4の発明は、第3の発明にあつて、上記プラズマ処理は、酸素ガス雰囲気または窒素ガス雰囲気が発生したプラズマ中に、 400°C 以下の温度に10秒間以上保持して行う貼り合わせウェーハの製造方法である。

発明の効果

[0025] 第1～第4の発明によれば、活性層用ウェーハの絶縁膜の厚さを、貼り合わせウェーハの埋め込み絶縁膜より薄くしたので、軽元素のイオン注入時において、仮に絶縁膜の面内膜厚のばらつきが大きくても、スマートカット法で得られた貼り合わせウェーハの活性層の面内厚さの均一性を高めることができる。

しかも、活性層用ウェーハの絶縁膜が薄くなることから、イオン注入の深さが相対的に深く、ウェーハ表面近傍に存在する軽元素のイオン注入による埋め込み絶縁膜のダメージを低減することができる。

図面の簡単な説明

- [0026] [図1]この発明の実施例1に係る貼り合わせウェーハの製造方法を示すフローシートである。
- [図2]活性層用ウェーハと支持用ウェーハとの貼り合わせ面の部分を拡大した拡大図である。
- [図3]従来手段に係る埋め込み絶縁膜の膜厚均一性と活性層の膜厚均一性との相関関係を示す活性層用ウェーハの断面図である。
- [図4]従来手段に係る埋め込み絶縁膜の膜厚均一性と活性層の膜厚均一性との相関関係を示す貼り合わせウェーハの断面図である。
- [図5]この発明に係る埋め込み絶縁膜の膜厚均一性と活性層の膜厚均一性との相関関係を示す活性層用ウェーハの断面図である。
- [図6]この発明に係る埋め込み絶縁膜の膜厚均一性と活性層の膜厚均一性との相関関係を示す貼り合わせウェーハの断面図である。

符号の説明

- [0027] 10 活性層用ウェーハ、
 12a, 12b シリコン酸化膜(絶縁膜)、
 12c 埋め込みシリコン酸化膜(絶縁膜)、
 13 活性層、
 14 水素イオン注入領域(イオン注入領域)、
 20 支持用ウェーハ、
 30 貼り合わせウェーハ。

発明を実施するための最良の形態

- [0028] 以下、この発明の実施例を図面を参照して説明する。

実施例 1

[0029] まず、ボロンが所定量添加されたp型の単結晶シリコンインゴットをCZ法により引き上げる。その後、この単結晶シリコンインゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、いずれも、厚さ $725\mu\text{m}$ 、直径 200mm 、比抵抗 $10\sim 20\Omega\text{cm}$ 、p型の片面が鏡面仕上げされた活性層用ウェーハ10および支持用ウェーハ20が得られる(図1のS101工程およびS102工程を参照)。

その後、図1のS103工程およびS104工程に示すように、両ウェーハ10, 20に酸素ガス雰囲気中で熱酸化処理を施し、両ウェーハ10, 20の露出面の全域に、シリコン酸化膜12a, 12bをそれぞれ形成する。熱酸化処理条件は、例えば後述の表1に示す試験例1の場合、活性層用ウェーハ10が 700°C 、20時間、支持用ウェーハ20が 1000°C 、6時間である。シリコン酸化膜12aの厚さは $0.01\mu\text{m}$ (所望の活性層13の厚さの約2%に該当)、シリコン酸化膜12bの厚さは $0.14\mu\text{m}$ である。両シリコン酸化膜12a, 12bの厚さは、酸化温度および処理時間によって変更される。

[0030] 次に、図1のS105工程に示すように、活性層用ウェーハ10の鏡面仕上げされた表面から所定深さ位置に、中電流イオン注入装置を使用し、 50keV の加速電圧で水素イオンを注入する。これにより、水素イオン注入領域14が形成される。その際のドーズ量は、 $5\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^2$ 、イオン注入深さ(R_p)は約 $0.5\mu\text{m}$ である。

[0031] この後、活性層用ウェーハ10および支持用ウェーハ20について貼り合わせ前のプラズマ処理を施してもよい。プラズマ処理は、酸素雰囲気中または窒素雰囲気中で、反応性ガスのプラズマを発生させ、これらウェーハをそのプラズマ中に、例えば室温で30秒間保持する。プラズマ処理効果は、活性層用ウェーハ10および支持用ウェーハ20にそれぞれ設けられた酸化膜12a, 12b表面上に付着した不純物(例えば有機物)等が除去されることにより、その表面が活性化され、プラズマ処理を行わない通常の貼り合わせの場合と比較して、貼り合わせ強度が増大する。通常、貼り合わせにおいては、酸化膜同士の貼り合わせは、シリコンと酸化膜との貼り合わせと比較して、その接合強度が小さくなり、スマートカット法において剥離ができない等、歩留りの低下を伴うが、上記プラズマ処理を追加することによりその貼り合わせ強度が改善され、歩留りを低下させることなく高品質化が可能となる。なお、プラズマ処理の温度は 400°C 以上であれば、活性層用ウェーハについてはイオン注入層からの剥離が懸念され

るため、イオン注入後の活性層用ウェーハについては剥離が生じない温度であればよいこととなる。

[0032] 続いて、図1のS106工程に示すように、活性層用ウェーハ10の表面と支持用ウェーハ20の鏡面とを貼り合わせ面(重ね合わせ面)とし、シリコン酸化膜12a, 12bを介して、例えば真空装置内で公知の治具により、両ウェーハ10, 20を貼り合わせる。これにより、貼り合わせウェーハ30が形成される。このとき、図2に示すように、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20との間でシリコン酸化膜12a, 12bが接合し、埋め込みシリコン酸化膜12cとなる。

[0033] それから、図1のS107工程に示すように、貼り合わせウェーハ30を図示しない剥離熱処理装置に挿入し、500℃の炉内温度、 N_2 ガス(アルゴンガスまたは酸素ガスでもよい)の雰囲気中で、貼り合わせウェーハ30を熱処理する。熱処理時間は30分間である。これにより、支持用ウェーハ20の貼り合わせ界面側に活性層13を残し、活性層用ウェーハ10を水素イオン注入領域14から剥離する低温熱処理が施される。剥離された活性層用ウェーハ10は、その後、表面を再研磨して支持用ウェーハ20または活性層用ウェーハ10として再利用することもできる。

[0034] 剥離後、図1のS108工程に示すように、1100℃、2時間の熱処理を行う。その結果、活性層12aと支持用ウェーハ20との貼り合わせ強度がさらに増強される。

そして、図1のS109工程に示すように、SOI構造の貼り合わせウェーハ30は、活性層13の外周部に残ったシリコン酸化膜12aと、支持用ウェーハ20のシリコン酸化膜12bとが、50重量%のHF溶液(室温)により、1分間、HFエッチングされる。その後、図1のS110工程に示すように、活性層13の表面が研磨装置により研磨される。こうして、スマートカット法による貼り合わせSOIウェーハ11が作製される(図1のS110工程を参照)。

[0035] このように、活性層用ウェーハ10のシリコン酸化膜12aの厚さを、貼り合わせウェーハ30の埋め込みシリコン酸化膜12cより薄くしたので、水素イオン注入時において、仮にシリコン酸化膜12aの面内膜厚のばらつきが大きくても、活性層13の面内厚さの均一性を高めることができる。

しかも、シリコン酸化膜12aが薄くなることから、水素イオンの注入深さが相対的に

深くなり、このイオン注入による埋め込みシリコン酸化膜12cのダメージを低減することができる。

[0036] ここで、実際に本発明法および従来法について、剥離後の活性層の膜厚の均一性と、埋め込みシリコン酸化膜のエッチングレートとを比較調査した結果を報告する。

活性層の膜厚の均一性はエリプソメータにより測定した。また、埋め込みシリコン酸化膜(活性層用ウェーハ側のシリコン酸化膜+支持用ウェーハ側のシリコン酸化膜)のエッチングレートは、1重量%のHF溶液を使用し、20℃、1分間のエッチングしたときのエッチングレートである。その結果を表1に示す。

なお、表中のBOXは埋め込みシリコン酸化膜12cを示し、tdoxは活性層用ウェーハの酸化膜12aの厚さを示し、tsoiは活性層13の厚さを示している。また、表中の剥離後の活性層均一性は、以下の式により求めた。

$$(\text{剥離後の活性層のばらつき} / \text{剥離後のSOI厚さ}) \times 100 (\%)$$

[0037] [表1]

	活性層基板の BOX厚さ (μm)	支持基板の BOX厚さ (μm)	tdox/tsoi	剥離後の活性 層均一性(%)	BOX層の エッチング レート
試験例1	0.01	0.14	0.03	4	1.02
試験例2	0.03	0.12	0.10	7	1.05
比較例1	0.05	0.10	0.16	12	1.11
比較例2	0.07	0.08	0.23	17	1.13
比較例3	0.15	0	0.5	21	1.16

[0038] 表1から明らかなように、tdox/tsoiの関係が1/9未満である試験例1および試験例2はいずれも、比較例1～比較例3に比べて剥離後の活性層の膜厚の均一性が改善された。また、試験例1および試験例2の埋め込みシリコン酸化膜のエッチングレートも、イオン注入を行わない熱酸化膜のエッチングレート(このときのエッチングレートを1とした)と比べてほぼ同等の結果が得られた。

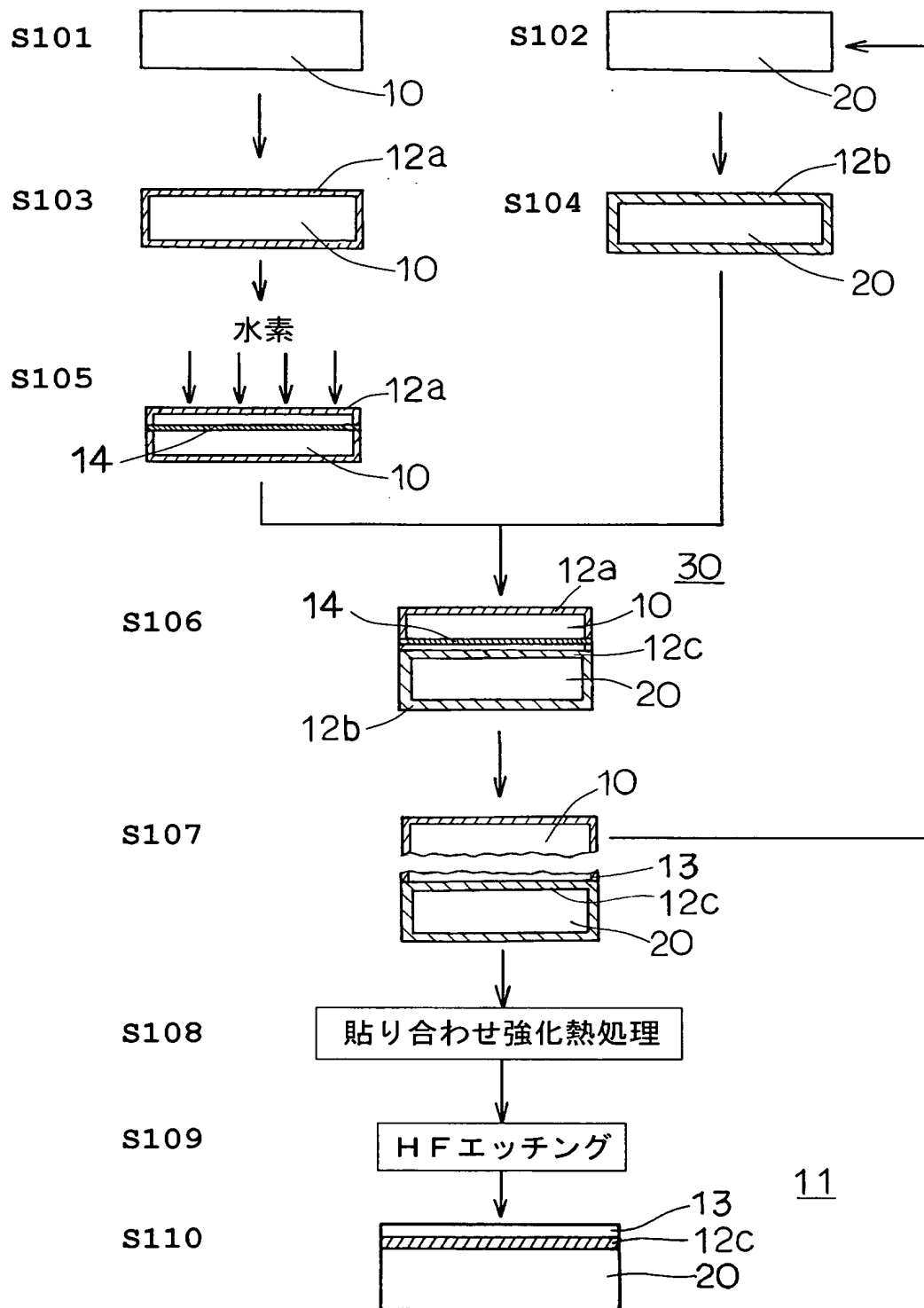
請求の範囲

- [1] 絶縁膜が形成された活性層用ウェーハの所定深さ位置に軽元素をイオン注入し、上記活性層用ウェーハにイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、
- その後、上記活性層用ウェーハと、絶縁膜が形成された支持用ウェーハとを、両絶縁膜同士を重ね合わせて貼り合わせ、貼り合わせウェーハを作製する貼り合わせ工程と、
- この貼り合わせウェーハを熱処理し、上記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させ、上記貼り合わせウェーハのイオン注入側を剥離して活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせウェーハの製造方法。
- [2] 上記活性層用ウェーハの絶縁膜の厚さ t_{dox} は、
- $$t_{dox} < (1/9) \times t_{soi}$$
- t_{soi} ＝活性層の厚さ
- の式を満足させる請求項1に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。
- [3] 上記活性層用ウェーハと上記支持用ウェーハとの貼り合わせ前に、上記活性層用ウェーハおよび上記支持用ウェーハについてそれぞれプラズマ処理を施す請求項1または請求項2に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。
- [4] 上記プラズマ処理は、酸素ガス雰囲気または窒素ガス雰囲気、400℃以下の温度に10秒間以上保持して行う請求項3に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

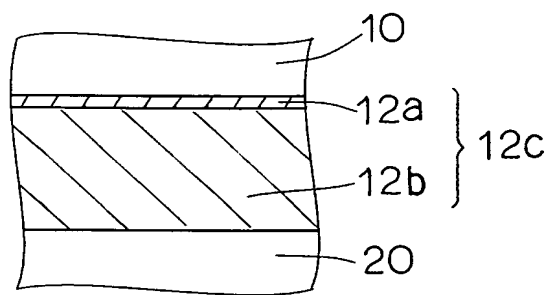
要 約 書

活性層用ウェーハのシリコン酸化膜の厚さを、埋め込みシリコン酸化膜より薄くした。よって、イオン注入時、シリコン酸化膜の面内膜厚のばらつきが大きくても、貼り合わせウェーハの活性層の膜厚均一性が高まる。しかも、シリコン酸化膜が薄くイオン注入深さが相対的に深くなるので、イオン注入による活性層と埋め込みシリコン酸化膜のダメージを低減できる。

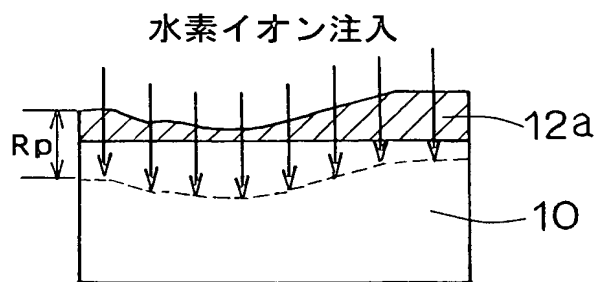
[図1]



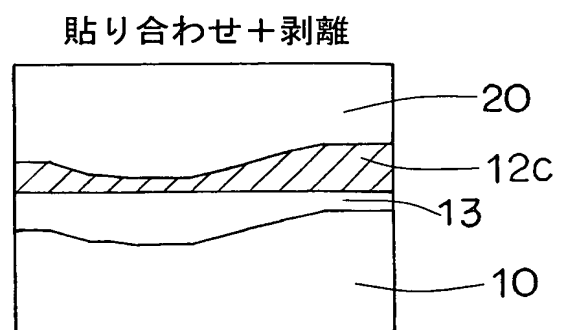
[図2]



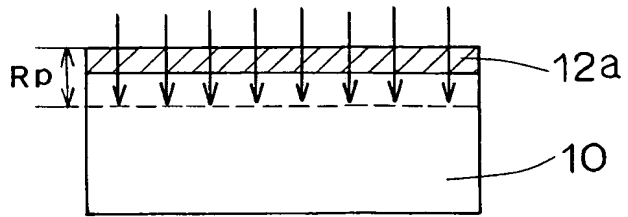
[図3]



[図4]



[図5]



[図6]

